

DIALOG(R) File 347:JAPIO
(c) 2007 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

05253864 **Image available**

OPTICAL ELEMENT AND PHYSICAL ETCHING

PUB. NO.: 08-209364 [JP 8209364 A]

PUBLISHED: August 13, 1996 (19960813)

INVENTOR(s): UMEKI KAZUHIRO

APPLICANT(s): RICOH OPT IND CO LTD [486164] (A Japanese Company or Corporation), JP (Japan)

APPL. NO.: 07-016233 [JP 9516233]

FILED: February 02, 1995 (19950202)

INTL CLASS: [6] C23F-004/00; C03C-015/00; G02B-006/32; G02B-006/42; H01S-003/18

JAPIO CLASS: 12.6 (METALS -- Surface Treatment); 13.3 (INORGANIC CHEMISTRY -- Ceramics Industry); 29.2 (PRECISION INSTRUMENTS -- Optical Equipment); 42.2 (ELECTRONICS -- Solid State Components)

JAPIO KEYWORD: R002 (LASERS); R004 (PLASMA); R012 (OPTICAL FIBERS)

ABSTRACT

PURPOSE: To obtain a desired curved surface shape by providing the etching surface side of an etching object with a shielding member having an opening shape meeting a desired working shape at the time of producing a microelement having an optical function by physical etching.

CONSTITUTION: The etching object 30 is held on a sample stage 20 in the lower part of a reaction chamber 10 which is opened toward a plasma generating chamber 12 in the upper part and is grounded. The front surface thereof is provided with the shielding member 40 having the opening meeting the desired working shape and etching is executed via the shielding member 40. The opening of the member 40 is formed to a disk, elliptic or polygonal shape. Further, the etching object 30 is held on a required holder which is formed to a cylindrical shape and has an opening of a prescribed shape at the end. The holder is preferably formed commonly as the shielding member 40. More preferably, the physical etching is executed by ECR plasma etching to execute etching continuously and/or intermittently.

?

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-209364

(43)公開日 平成8年(1996)8月13日

(51)Int.Cl.⁶
C 23 F 4/00
C 03 C 15/00
// G 02 B 6/32
6/42
H 01 S 3/18

識別記号 Z
Z

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 8 O.L. (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平7-16233

(22)出願日 平成7年(1995)2月2日

(71)出願人 000115728

リコー光学株式会社

岩手県花巻市大畑第10地割109番地

(72)発明者 梅木 和博

岩手県花巻市大畑第10地割109番地・リコ
一光学株式会社内

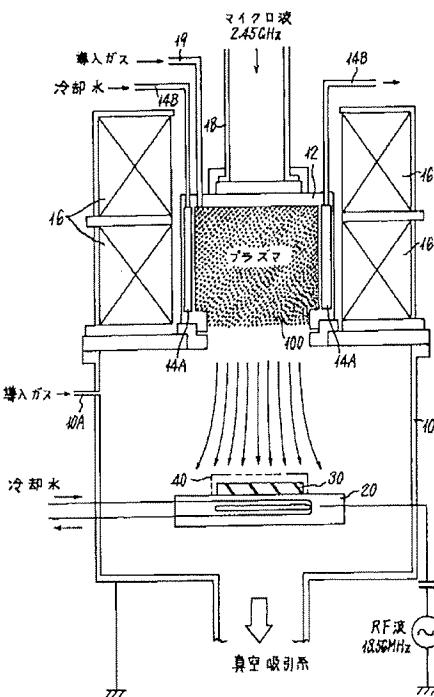
(74)代理人 弁理士 樽山 亨 (外1名)

(54)【発明の名称】 光学素子および物理的エッティング方法

(57)【要約】

【目的】パターン物質によるパターンをパターニングする工程を必要としない新規な物理的エッティング方法を実現する。

【構成】反応室10内のエッティング対象物30の加工面側に、目的とする加工形状に応じた開口形状をもつ遮蔽部材40を設け、この遮蔽部材40を介してエッティング対象物を物理的エッティングする。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】反応室内のエッチング対象物の加工面側に、目的とする加工形状に応じた開口形状をもつ遮蔽部材を設け、この遮蔽部材を介してエッチング対象物を物理的エッチングすることを特徴とする物理的エッチング方法。

【請求項2】請求項1記載の物理的エッチング方法において、

エッチング条件を、連続的および／または断続的に変化させることによって、目的とする曲面形状を得ることを特徴とする物理的エッチング方法。 10

【請求項3】請求項1または2記載の物理的エッチング方法において、

遮蔽部材における開口が円形状もしくは梢円形状であることを特徴とする、物理的エッチング方法。

【請求項4】請求項1または2記載の物理的エッチング方法において、

遮蔽部材における開口が多角形形状であることを特徴とする、物理的エッチング方法。

【請求項5】請求項1または2または3または4記載の物理的エッチング方法において、

エッチングがE C R プラズマエッチングであることを特徴とする、物理的エッチング方法。

【請求項6】エッチング対象物としての光学材料に、請求項1または2または3または4または5記載の物理的エッチングを行うことにより所望の曲面形状を形成して成る光学素子。

【請求項7】エッチング対象物が、球形状の光学材料の表面の一部に、上記球形状よりも曲率半径の大きい球面形状を持つ別材料の層を形成したものであり、

上記別材料の層の表面形状を出発形状として、請求項1または2または3または4または5記載の物理的エッチングを行うことにより所望の曲面形状を形成して成る光学素子。 30

【請求項8】請求項7記載の光学素子において、

エッチング対象物が、円筒状で端部に所定形状の開口を有する専用のホルダーに保持され、

上記ホルダーが遮蔽部材を兼ねたことを特徴とする光学素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、光学素子および物理的エッチング方法に関する。

【0002】

【従来の技術】L D 等の発光素子からの光束を、光ファイバーの端面に集光させるカップリングレンズ等に代表される、光学機能を持った微小な光学素子が実用化されつつある。

【0003】このような微小な光学素子における屈折面や反射面の形成にエッチングを利用することが知られて 50

2

いる。

【0004】面形成に利用できる物理的エッチングとしては、R I E (反応性イオンエッチング)、R I B E (反応性イオンビームエッチング)、E C R (電子サイクロトロン共鳴) プラズマエッチングを挙げができる。

【0005】これらの物理的エッチングでは、反応室内にエッチング対象物を保持させ、反応ガスを反応室内に導入してエッチングを行う。エッチング加工されるエッチング対象物は、その表面に上記反射面や屈折面に応じたパターンがパターン物質により形成されており、エッチングによりパターンと類似の形状がエッチング対象物の表面に彫り写されることになる。

【0006】このように、上記物理的エッチングでは、エッチング対象物の表面にパターン物質によるパターンをバーニングする工程やエッチング対象物上にエッチング対象物とは異なる出発形状を創成する工程等の「前工程」を必要とするため、所望の面形状を形成するのに多くの工程を必要とし、能率の良い面形状形成ができないと言う問題があった。

【0007】パターン物質によるパターン形成を必要としない物理的エッチング方法として、エッチング対象物の表面にタングステンワイヤを張り、このタングステンワイヤをマスクとして「A r イオンによるイオンビームエッチング」を行う方法が提案されている(1994年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集第219～220頁)。

【0008】この方法は不活性イオンであるA r イオンによる物理的衝撃によりエッチング対象物をエッチングするので超硬合金等の強度の大きい材料のエッチングには適する。

【0009】しかし、例えばガラスのような材料に対して適用した場合、エッチング対象物の損傷が大きく、エッチング後の表面が非常に粗くなり、そのままでは屈折面や反射面として使用できない。また、3次元的な形状の形成には利用できない。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】この発明は上述した事情に鑑みてなされたものであって、2次元または3次元の表面形状を有するエッチング対象物を用い、バーニング等の前工程を必要とせずに微小な屈折面や反射面を形成するのに適した新規な物理的エッチング方法の提供を目的とする(請求項1～5)。

【0011】この発明の別の目的は、上記物理的エッチング方法により形成される曲面形状を光学的面として有する光学素子の提供にある(請求項6～8)。

【0012】

【課題を解決するための手段】この発明の「物理的エッチング方法」は「反応室内のエッチング対象物の加工面側に、目的とする加工形状に応じた開口形状をもつ遮蔽

部材を設け、この遮蔽部材を介してエッティング対象物を物理的エッティングする」ことを特徴とする（請求項1）。

【0013】この場合において、エッティング条件は終始一定に保っても良いが、目的とする曲面形状を得るためにエッティング条件を「連続的および／または断続的に変化させる」こともできる（請求項2）。

【0014】「遮蔽部材」は、エッティング対象物に対し、プラズマの流れを遮蔽できる材質で形成され、目的形状とする曲面形状に応じた開口形状を持つが、この開口形状は、例えば「円形状または梢円形状」とすることも（請求項3）できるし、長方形形状や6角形形状等の「多角形形状」等を開口形状とすることができます（請求項4）。

【0015】エッティングは前述のR I EやR I B Eで行うことができるが、特に「E C R プラズマエッティング」は、制御性に優れ、高速で、異方性エッティング成分と等方性エッティング成分の成分比の制御が容易である、大口径化が容易である等の点で好適である。

【0016】この発明の「光学素子」は「エッティング対象物としての光学材料に、上記請求項1または2または3または4または5記載の物理的エッティングを行うことにより所望の曲面形状を形成して」構成される点を特徴とする（請求項6）。

【0017】エッティング対象物としての光学材料の、エッティングが行われる部分の形態（出発形状）は、平面でも曲面でも良いし、円錐や角錐等の錐体形状でも良く、光学材料の表面が直接に出発形状を構成してもよい。

【0018】あるいはまたエッティング対象物を「球形状の光学材料の表面の一部に、上記球形状よりも曲率半径の大きい球面形状を持つ別材料の層を形成したもの」として構成し、上記別材料の層の表面形状を出発形状として、請求項1または2または3または4または5記載の物理的エッティングを行うことにより所望の曲面形状を形成して光学素子としてもよい（請求項7）。

【0019】上記「別材料」は、光学材料と異なる材料で層形成の可能なものという意味であり、好適な例として「レジスト材料」や「紫外線硬化型樹脂、熱硬化型接着剤等」を挙げることができる。

【0020】この請求項7記載の光学素子の場合において、「エッティング対象物を、円筒状で端面部に所定形状の開口を有する専用のホルダーに保持させ、ホルダーが遮蔽部材を兼ねるようにする」ことができる（請求項8）。

【0021】勿論、エッティング対象物と遮蔽部材とが別個に構成され、エッティング時に位置合わせされたのち、一体として構成されるようにしてもよい。

【0022】

【作用】上記のように、この発明の物理的エッティング方法では、R I E、R I B E、E C R プラズマエッティング

を行うエッティング装置において、エッティング対象物の加工面側に遮蔽部材を配備し、遮蔽部材の開口形状を通過したプラズマ流によりエッティング対象物のエッティングを行う。即ち、エッティング対象物の表面に対するパターン物質によるパターンの形成は行わない。

【0023】エッティング対象物のエッティングされるべき面として平面を想定すると、エッティング対象物に向かうプラズマ流の方向が、上記平面に直交する方向に揃っているときエッティングは「異方性エッティング」になる。プラズマ流が、上記平面に対して平行な方向の成分を持つと、エッティングは「異方性エッティングと等方性エッティング」とが混ざりあったものとなる。

【0024】一般に、エッティング対象物のエッティングされるべき面に対してプラズマ流が傾いているときは、プラズマの流れの方向は、エッティングされるべき面に直交する方向の成分と、平行な方向の成分とを持つから、エッティングは異方性エッティングと等方性エッティングとが混ざったものと成り、上記傾きの大きさに応じて、異方性エッティングの成分と等方性エッティングの成分との比率が変化する。

【0025】エッティングされるべき面が曲面である場合には、曲面上の位置に応じて、プラズマ流に対する傾きが異なるから、曲面上の位置ごとに、異方性エッティングの成分と等方性エッティングの成分との比率が異なることになる。

【0026】上記R I EやR I B E、E C R プラズマエッティング等の物理的エッティングは、異方性エッティングを基本としているが、現実には厳密な異方性エッティングは実現出来ず「ある程度の等方性エッティングを含んだ異方性エッティング」となる。

【0027】上記物理的エッティングが可能な装置では、エッティング条件を変更することで容易に等方性成分をより多く有するエッティングを実現出来る。異方性エッティングを行う能力は、R I E < R I B E < E C R プラズマエッティングの順に大きい。これはエッティング装置の構造とエッティング時の圧力に大きく依存している。

【0028】上記エッティング装置ではエッティング条件の変更は、反応室内圧力、導入ガス種、導入ガス流量、エッティング対象物の温度等（反応室内条件）の制御により、容易に可能である。

【0029】反応室内において遮蔽部材を通過したプラズマ流は、遮蔽部材の開口形状により制限された領域でエッティング対象物に作用する。

【0030】遮蔽部材の開口部を通過した直後においては、プラズマ流は開口部による制限により、略完全に1方向に揃えられており、従って、開口部のすぐ近くにエッティング対象物があれば、エッティングは開口部のすぐ近傍の部分のみがエッティングされ、且つ、異方性エッティングの作用を強く受けることになる。

【0031】しかし、開口部を通過したプラズマ流は、

開口部から離れるに従い、導入ガス分子との衝突により次第に広がるので、プラズマ流の周辺部は等方性エッティングの作用が相対的に高まってくる。

【0032】従って、エッティング対象物は、開口部からの距離に応じて、異方性エッティングと等方性エッティングの混り合った作用でエッティングされるが、両エッティングの混合の割合は場所により異なり、開口部の中心近傍では異方性エッティングの影響が大きく、周辺に行くほど等方性エッティングの作用が相対的に強まる。

【0033】勿論、エッティング対象物に対する上記異方性エッティングと等方性エッティングの影響の相対的な関係は、遮蔽部材の位置・開口形状と反応室内条件とにより異なる。

【0034】そこで、エッティング対象物が所望の加工形状にエッティングされるような「異方性エッティングと等方性エッティングの相対的な関係」を実現できるように、「遮蔽部材の位置・開口形状と反応室内条件と」をシミュレーションで決定し、このように決定された条件でエッティングを行うのである。

【0035】この場合、必要と有れば、反応室内条件を時間的に制御するようにしても良い（請求項2）。

【0036】例えば、エッティング対象物としての光学材料に非球面の屈折面を形成する場合だと、以下のような手順で非球面形成が行われることになる。

【0037】まず、エッティング対象物における「出発形状」を目的とする非球面形状に応じて、それに近い形状を選択し、このような出発形状を形成したエッティング対象物を準備する。

【0038】続いて、シミュレーションにより、遮蔽部材における開口形状、遮蔽部材の配備位置（エッティング対象物との相対的な位置関係）、反応室内条件の時間的な変化を決定する。

【0039】エッティング対象物と遮蔽部材とを反応室内に正確に位置決めして設置し、コンピュータ制御で反応室内条件を制御しつつエッティングを行う。

【0040】このような手順でエッティングによる面形成を行うことにより、片凸レンズ、両凸レンズ、片凹レンズ、両凹レンズあるいは凸または凹の反射面を持つ反射光学素子（必要と有れば、形成した曲面形状に反射膜をもうける）を実現できる。この場合、光学素子材料としてはガラスやプラスチック、短結晶材料等の透明材料（レンズの場合）や、これら透明材料や金属等の不透明材料（反射光学素子の場合）が利用できる。

【0041】また、ガラス、金属、Si、(SiC·Si₃N₄·SiAlON等の)セラミックス材料、単結晶材料等に所望の加工形状を形成したものは、屈折面や反射面を形成するための型として使用できる。

【0042】

【実施例】図1は、この発明の物理的エッティング方法を「ECRプラズマエッティング」に適用した1実施例を説

明図的に示している。

【0043】図1において、符号10で示す反応室は接地され、その下部の開口部は真空吸引系に接続され、その側部上方にはガス導入部10Aが形成され、上部はプラズマ発生室12に向かって開いている。

【0044】プラズマ発生室12は、その周囲に冷却部14Aが形成され、その外側は磁気コイル16により囲繞されている。冷却部14Aには流通路14Bにより冷却水が流通されるようになっている。

【0045】プラズマ発生室12の上部には導入ガス用のガス導入部19が接続されてプラズマ発生室内に導入ガスを導入できるようになっている。プラズマ発生室12の上部はまた、断面形状長方形の導波管18に接続され、周波数：2.45GHzの「マイクロ波」をプラズマ発生室内に作用させることができるようにになっている。

【0046】反応室10の下側部分には、エッティング対象物30を保持する試料台20が配備され、13.56MHzのRF波が印加されるようになっており、またエッティング対象物30の温度上昇を軽減させる目的で冷却水により冷却されるようになっている。

【0047】符号40で示す遮蔽部材は、所定の開口形状の開口を有し、エッティング対象物30を覆うように配備される。上記RF波は遮蔽部材40には作用せず、遮蔽部材40は、電気的にはフロート状態もしくは接地状態に置かれる。

【0048】反応室内に導入ガスを導入し、図1の状態において装置を作動させると、プラズマ発生室12内に発生したプラズマ100（プラズマ状態で生成されたイオン・中性粒子・ラジカル等のプラズマ種で構成されている）の流れがエッティング対象物30に向かって生じる。

【0049】プラズマ流は、遮蔽部材40により妨げられ、遮蔽部材40の開口部を通過したプラズマ流だけがエッティング対象物30に到達してエッティングを行なう。

【0050】図2は、エッティング対象物30Aの表面形状が「平面」で、遮蔽部材40Aが「1連の開口」を有する場合を示している。図2の(a)は「エッティング前」の状態を示し、(b)は「エッティング後」の状態を示している。

【0051】図2(a)に示すように、遮蔽部材40Aの開口を通過したプラズマ流は、エッティング対象物30Aの表面に垂直な方向へ進行するが、進行の途上において、導入ガスの分子との衝突によりプラズマ粒子の運動方向がずれ、エッティング対象物30Aに平行な方向へ広がりながら上記表面に到達する。

【0052】このため、上記表面の開口の中心に近い部分ほど異方性エッティングが優勢であるが、開口の周辺部に近い部分では等方性エッティングが行われるようになり、エッティング後は図2(b)に示すように、中心部は

(異方性エッティングの作用で) 平面的にエッティングされ、周辺部は(等方性エッティングの作用で) 曲面状にエッティングされる。

【0053】なお、プラズマ流の進行方向に直交する方向への広がりは、上記の如く導入ガス分子とプラズマ粒子の衝突によるから、導入ガスの圧力により上記「広がり」の程度を制御できる。

【0054】このようにして、深さ:Eを持つ底面部が大きさ:Dをもつ平面で、周辺部が滑らかな曲面をなす、大きさ:Cの凹曲面形状を形成することができる。

【0055】上記遮蔽部材40Aにおける開口の開口形状が円形であれば、形成される凹曲面形状の平面図形状(図2(b)の状態を図の上方から見た形状)も円形状になるし、開口形状を梢円形状とすれば梢円形の平面図形状を持つ凹曲面が形成される。また、上記開口形状を4角形形状とすれば、形成される凹曲面の平面図形状も4角形になる。

【0056】さらに、図2(a)において、開口部の形状を、図面に直交する方向に長いスリット状にすれば、図2(b)に示すような横断面形状の溝状の凹曲面形状を得ることができる。

【0057】例えば、図2(a)における遮蔽部材40Aの開口形状が円形状である場合において、開口径:Aに比して、遮蔽部材40Aとエッティング対象物30Aの表面との間隔:Bを大きくすれば、形成される凹曲面の大きさ:Cが大きくなり、底面部の大きさ:Dが小さくなり、凹曲面は全体が滑らかな凹面に近づく。

【0058】反応室内に導入する反応性ガスの種類・導入圧力等を変更することによって、エッティング対象物の材質に対するエッティングガスの反応機構や平均自由行程が変化し、異方性エッティングと等方性エッティングの度合いが変化することが分かっている。

【0059】従って、同一の遮蔽部材を使用しつつ、反応性ガスの種類と反応室内圧力等の条件を制御しながら、エッティング条件を連続的および/または断続的に変化させる(請求項2)ことによって、加工形状に対する自由度が一段と大きくなる。

【0060】また、エッティング対象物の表面に対するプラズマ流の入射角度が変化すると、異方性エッティングと等方性エッティングの割合が変化することが分かっている。例えば、同じ条件でエッティングを行なってもプラズマ流の入射角度が小さい(基板面の法線方向とほぼ同じ角度で入射している)面では等方性のエッティング成分が少なく、入射角度が大きな(基板面の法線方向と大きな角度をなして入射する)面では等方性のエッティング成分が大きい。

【0061】従って、エッティング対象物の出発形状を選択することもまた、加工形状に対する自由度を増大させる要因となる。

【0062】図3は、球形状のエッティング対象物に対し

てこの発明の物理的エッティング方法を行う場合を示している。(a)はエッティング前、(b)はエッティング後を示している。

【0063】球形状のエッティング対象物30B1, 30B2, . . . は同一形状のもので、ホルダー35に等間隔に保持されている。遮蔽部材40Bはエッティング対象物30B1等の配列間隔に等しいピッチで開口した開口を有し、各開口の中心はエッティング対象物の中心軸と合致している。

【0064】開口の開口形状は種々の形状が可能である。例えば、図4に示すように、開口40B1の開口形状が、その中心をエッティング対象物30B1の中心軸に合致させた「円形」である場合(請求項3)、エッティングは上記中心軸に対して軸対称に進行するが、中心軸近傍では異方性エッティング成分が大きく、中心軸から離れるに従い、等方性エッティング成分が相対的に大きくなってくる。

【0065】このため、結果としては図4に示すように「当初の球形状よりも曲率の弱い凸曲面」が形成されることになる。

【0066】重要なことは、遮蔽部材を用いない場合には、上記の理由により「プラズマ流に対するエッティング対象物表面の傾きに応じて異方性と等方性の成分の割合が異なり「当初の球面よりも曲率の強い凸曲面」が形成されることである。遮蔽部材を用いると、上記のように当初の球形上よりも曲率の弱い凸曲面を形成できるのである。

【0067】また、図5(e)に示すように遮蔽部材40Bの開口40C1の開口形状が長方形形状(請求項4)である場合には、エッティングの作用は開口40C1の短手方向(図5(a), (b))と長手方向(図5(c), (d))とで異なり、エッティングにより形成される凸曲面は上記短手・長手の両方において曲率が異なるものとなる。このようにして例えば「アナモフィック」な屈折面を形成することが可能である。

【0068】また、透明なエッティング対象物に、この発明の物理的エッティング方法で曲面形状を形成する場合、この曲面形状は屈折面として利用できるが、図6(a), (b)に示すように、曲面形状の加工形成されたエッティング対象物30D, 30Eの、曲面形状以外の部分に遮光膜31A, 31Bを形成することもできる。

【0069】図3, 4, 5に即して、エッティング対象物の形状が球形状である場合を説明した。この説明例では、複数の球形状のエッティング対象物が同一のホルダーに保持されており、これらに共通の遮蔽部材40Bが用いられていた。

【0070】図7(a)に示すように、球形状のようなエッティング対象物30Bの場合には、これをホルダー40Fに保持させ、ホルダー40Fの端部(図の上端部)の開口を有する部分をプラズマ流の遮蔽に用いることも

9

できる。

【0071】即ち、ホルダー40Fは「円筒状」で内部にエッティング対象物30Bを固定的に保持する（符号43は固定用の低融点ガラスを示す）と同時に、遮蔽部材としても機能している。

【0072】ホルダー上端部の上記開口は、図7（b）に示すように、円形の開口形状を持つ開口40F1でも良いし、（c）に示すように長方形形状の開口形状を持つ開口40F2でも良く、他の開口形状のものでもよい。

【0073】また、このようにエッティング対象物30Bをホルダー40Fに保持させる場合、エッティング対象物30Bは「球形状の光学材料に、その球形状よりも曲率半径の大きい球面形状を持つ、光学材料とは別材料の層を、例えばレジスト材料により形成したもの」としても良く、この別材料の層の表面形状を出発形状として物理的エッティングを行うことにより所望の曲面形状を形成することができる（請求項7、8）。

【0074】以下、この場合に付き、具体的な例を説明する。

【0075】光信用カプラ（LDと光ファイバーの高効率結合モジュール）として、カプラーレンズとそのホルダーとを一体に構成したものを製作した。

【0076】具体例1

光学材料：SF60（波長：1.30 μmの光に対して屈折率：1.76817をもつ）を直径：2.0mmの球形状（曲率半径：1.0mm）に形成した。以下この球形状の光学材料を「ボールレンズ」と呼ぶ。

【0077】図7（a）に示す如き断面形状を持つホルダー40Fとして、SUS316材料を加工して形成したものを使い、この円筒状のホルダー内にエッティング対象物30Bとして上記ボールレンズを圧入して低融点ガラス43で固定した。

【0078】続いて、ホルダーの開口を形成されている側（図7（a）の上側）を上に向けて、ECRプラズマエッティング装置にセットし、反応室内に「導入ガス」としてArを2.6sccm、CHF₃を26.0sccm、O₂を7.8sccm導入し、Ar:CHF₃:O₂の比を一定に保ったまま、4~12×10⁻⁴Torrの条件下で「500分間」物理的エッティングを行い、目的とする非球面形状を加工形成する。

【0079】目的とする非球面形状は、周知の非球面式：

$$Z = [(1/R)h^2 / 1 + \sqrt{1 - (K+1)(1/R)^2 h^2}] + A \cdot h^4 + B \cdot h^6 + C \cdot h^8$$

R：曲率半径

K, A, B, C：非球面定数（Aは4次、Bは6次、Cは8次の項）

Z：レンズ頂点からの距離
において、

10 R=-1.0025mm

K=-0.107117×10¹A=-0.481868×10⁻²B=-0.3087594×10⁻¹

C=0.3821575

とした形状である。

【0080】Ar:CHF₃:O₂の導入量の比（2.6:26.0:7.8）を一定に保ち、圧力を4~12×10⁻⁴Torrの範囲にした場合、エッティング対象物30Bであるボールレンズの材料のSF60における等方性エッティングと異方性エッティングの関係は、面平行方向のエッティング速度：面垂直方向のエッティング速度の比が0.6~0.8であることが分かっているので、ホルダー40Fにおける開口の形状を図7（b）のように「円」形状とし、その直径を0.8mmとした、開口からボールレンズ頂部までの距離は1.50mmである。

【0081】上記開口形状および開口とエッティング対象物との距離とをもとに、上記非球面形状を実現できるエッティング条件をコンピュータシミュレーションで決定し、その結果に従い、Ar:CHF₃:O₂の比を一定に保ちつつ、上記圧力を4~12×10⁻⁴Torrの範囲内でコンピュータ制御した。このようにして、ホルダーと一体のカプラーレンズを得た。非球面を形成された面の光線有効径は1.1mmである。

【0082】このカプラーレンズの上記非球面に形成された側を第2面とし、当初の球面部分（曲率半径：1.0mm）の側を第1面とし、半導体レーザー（発散性の放射光束の半値全角32度）の発光端面から0.385mmの位置に置き、上記第2面（非球面）から5.972mmのところに光ファイバーの端面を位置させた。

【0083】この状態で、光結合効率を光結合効率測定装置で測定したところ、設計値の58%に対して57%の結合効率が得られた。

【0084】具体例2

図8（a）に示すエッティング対象物30Cとして、SF F1（波長：1.3μmの光に対して屈折率：1.87367をもつ）による直径：2.0mm（曲率半径：1mm）のbボールレンズを用意した。

【0085】図8（a）に示す如き断面形状の円筒状のホルダー40Gを具体例1と同じ材料：SUS316で形成し、上記ボールレンズを圧入して低融点ガラス43Aで固定した。

【0086】続いて、ホルダー40Gに一体化されたボールレンズを、図8（b）に示すように、円筒がそのまま開口している側を上にしてECRプラズマエッティング装置にセットし、その上方に遮蔽部材40Hを配備した。

【0087】導入ガスとして、Arを2.6sccm、CHF₃を26.0sccm、O₂を7.8sccm導入し、3~14×10⁻⁴Torrの条件下で「400分

11

間」物理的エッティングを行い、エッティング条件を経時的に変化させながらポールレンズ表面に目的とする非球面形状を加工形成する。

【0088】目的とする加工形状は、上記非球面の式において、

$$R = -1.0025 \text{ mm}$$

$$K = -0.9700838$$

$$A = -0.3066428 \times 10^{-2}$$

$$B = 0.1117117 \times 10^{-2}$$

$$D = 0.2645597$$

とした形状である。

【0089】Ar : CHF₃ : O₂ の比を一定に保ち、圧力を $3 \sim 14 \times 10^{-4}$ Torr の範囲にした場合、エッティング対象物 30B であるポールレンズの材料の SFS 1における等方性エッティングと異方性エッティングの関係は、面平行方向のエッティング速度：面垂直方向のエッティング速度の比が 0.3 ~ 0.5 であることが分かっているので、遮蔽部材 40H における開口の形状を「円」形状とし、その直径を 0.6 mm とし、ポールレンズ頂部から開口までの距離が 2.00 mm となるように正確に位置決めして配備した。

【0090】この開口形状および開口とエッティング対象物との距離とをもとに、上記非球面形状を実現できるエッティング条件をコンピュータシミュレーションで決定し、その結果に従い、Ar : CHF₃ : O₂ の導入量の比 (2.6 : 26.0 : 7.8) を一定に保ちつつ、上記圧力を $3 \sim 14 \times 10^{-4}$ Torr の範囲内でコンピュータ制御した。このようにして、ホルダーと一体のかプラーレンズを得た。非球面を形成された面の光線有効径は 1.0 mm である。

【0091】このカプラーレンズの上記非球面に形成された側を第2面とし、当初の球面部分（曲率半径 : 1.0 mm）の側を第1面とし、半導体レーザー（発散性の放射光束の半值全角 32 度）の発光端面から 0.2900 mm の位置に置き、上記第2面（非球面）から 5.4274 mm のところに光ファイバーの端面を位置させた。

【0092】この状態で、光結合効率を光結合効率測定装置で測定したところ、設計値の 58 % に対して 57 % の結合効率が得られた。

【0093】

【発明の効果】以上に説明したように、この発明によれ

12

ば新規な物理的エッティング方法と光学素子とを提供できる（請求項 1 ~ 8）。

【0094】この発明の物理的エッティング方法は、上記の如き構成と成っているから、所望の面形状を加工するのにパターン物質によるパターンをパターニングする工程を必要とせず、効率良く安価に所望の面形状を形成できる。

【0095】また、物理的な衝撃の大きい不活性イオンによるイオンビーム法と異なり、エッティング後の表面が粗くなることがなく「滑らかな曲面形状」を加工できる。

【0096】この発明の光学素子は上記エッティング方法により曲面形状を加工されるので、効率良く歩留まりよく、低コストで実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】この発明の物理的エッティング方法を ECR プラズマエッティング装置で実行する場合を説明する図である。

【図 2】表面が平面であるエッティング対象物にこの発明の物理的エッティング方法でエッティングする場合の例を説明するための図である。

【図 3】表面が球面であるエッティング対象物にこの発明の物理的エッティング方法でエッティングする場合の例を説明するための図である。

【図 4】図 3 の例において、遮蔽部材の開口形状が円形である場合を説明するための図である。

【図 5】図 3 の例において、遮蔽部材の開口形状が長方形形状である場合説明するための図である。

【図 6】この発明の物理的エッティング方法で加工された屈折面の回りに遮光膜を形成した例を 2 例示す図である。

【図 7】球形状のエッティング対象物を遮蔽部材を兼ねたホルダーに保持して、この発明の物理的エッティング方法を実行する場合を説明するための図である。

【図 8】具体例 2 を説明するための図である。

【符号の説明】

10 反応室

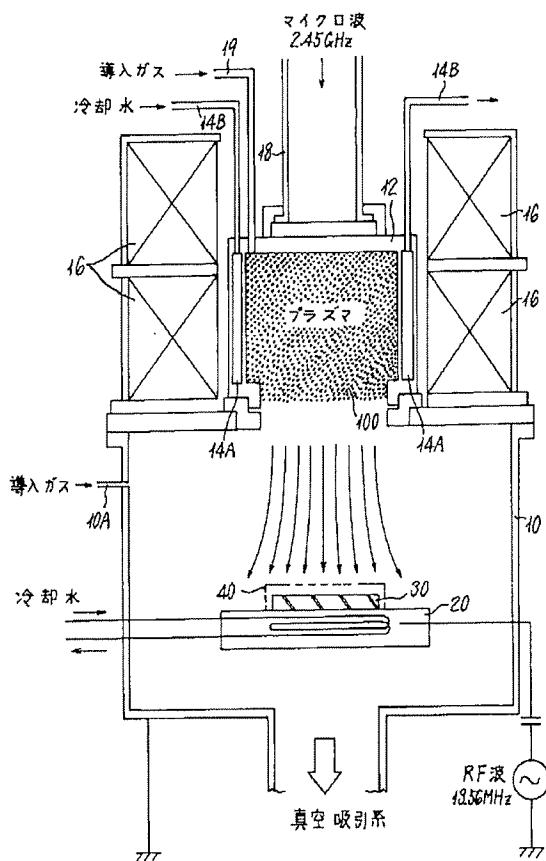
12 プラズマ発生室

100 プラズマ

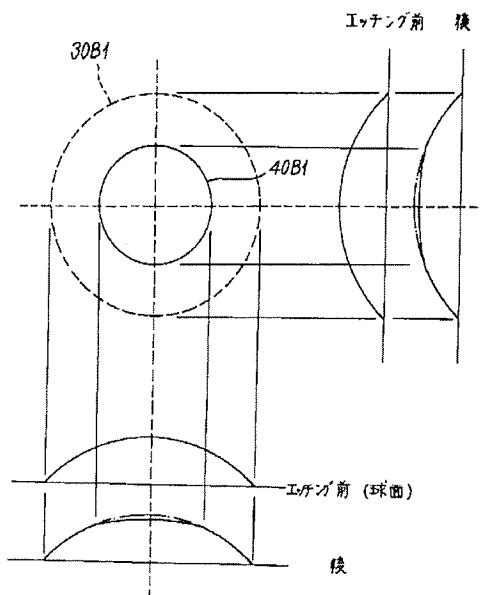
40 30 エッティング対象物

40 遮蔽部材

【図1】

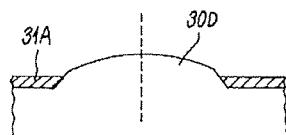


【図4】



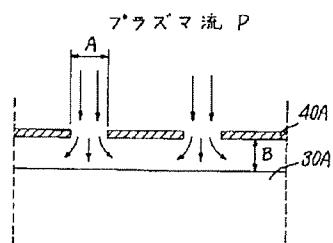
【図6】

(a)

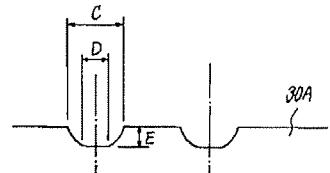


【図2】

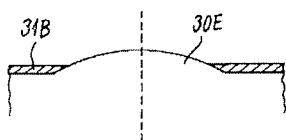
(a) エッティング前



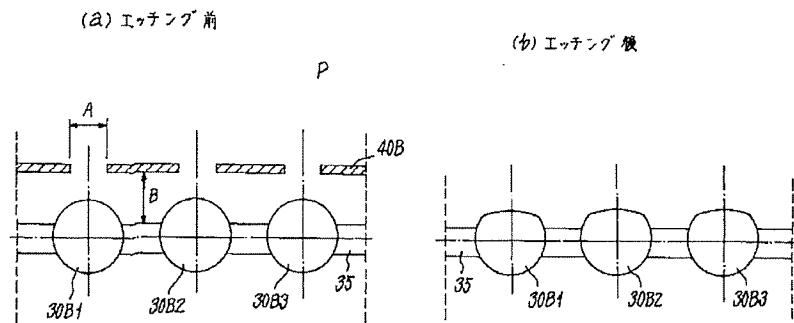
(b) エッティング後



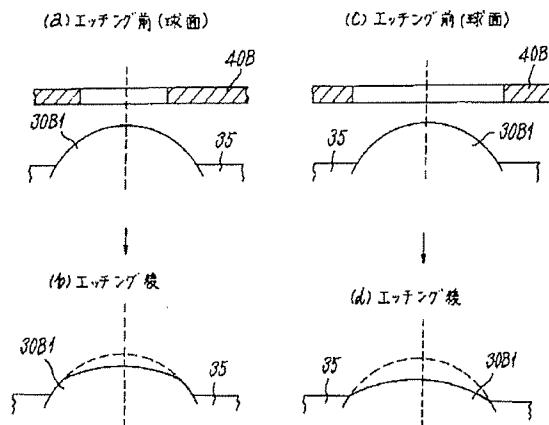
(b)



【図3】



【図5】



【図8】

